

補助事業番号 25-146  
補助事業名 平成25年度自動車部品の軽量化と強靱化のための浸炭・窒化と熱処理  
シミュレーション手法の構築補助事業  
補助事業者名 特定非営利活動法人 変態・熱・力学研究協会 井上達雄

## 1 補助事業の概要

### (1) 事業の目的

研究題目：浸炭・窒化による炭素・窒素濃度と残留応力推定に関する研究

自動車部品特にパワートレインはじめ各種機械部品の軽量化と強靱化のためには、鋼部品に浸炭、窒化を行って表面を硬化し、その後熱処理を施すことが多い。この条件と結果の評価は、現場の経験と実績によるか、コストと時間を要する実験に依存してきた。したがって、これを理論的に解明し、コンピューターソフトで模擬することは、機械メーカーをはじめ多くの分野で緊急の課題となっている。

このような表面強化を目的としてなされる浸炭、窒化とその後熱処理の条件設定をシミュレーションで容易に行う方法論を確立するために、詳細な理論の構築と共に、シミュレーションソフトを開発する。すなわち、浸炭、窒化処理はおおくの場合部品に比べて極めて浅い表面に限定されていることに鑑み、簡便な（一次元的な）シミュレーションシステムを構築し、さらに一般化した高度な有限要素法による熱処理シミュレーションコードに適用する可能性を探ることを目的とする。

### (2) 実施内容

#### a. とくに窒化過程における窒素物生成と窒素濃度評価の理論の構築

本プロジェクトで意図する化学量論に基づく浸炭・窒化の定量的理論は、学術的に未完成的なものが多いが、当代表者は熱力学的局所非平衡の立場から、初期段階から各種窒化物生成過程を逐次考慮した理論を構築した。これは、学術的に新しい知見を与えるものである。

#### b. 構築した理論の数式処理化とプログラムの構築

まず、浸炭処理については基本的には炭素の拡散方程式を与えられた境界条件のもとで解くことによって炭素濃度を容易に知ることができる。

一方、鋼の窒化における窒素や窒化物の分布については、これまで多くの理想化した解析が行われているが、これらは窒化物 $\gamma'$ 相—Fe<sub>4</sub>Nや $\epsilon$ 相—Fe<sub>3</sub>Nの存在を前提として拡散解析を行い、それによる窒素濃度分布を求めるものがほとんどである。ここでは、まず、窒化の過程を非平衡的に考察することによって、順次 $\alpha$ 相、 $\gamma'$ 相、 $\epsilon$ 相の発生を考慮して解析を行う考え方を提示し、それに伴う窒素濃度と体積変化を求める。浸炭過程では、このような化合

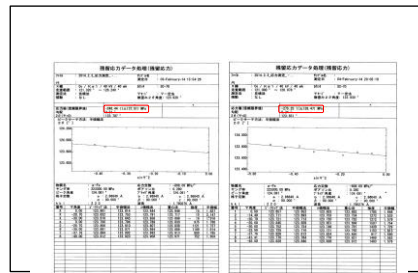
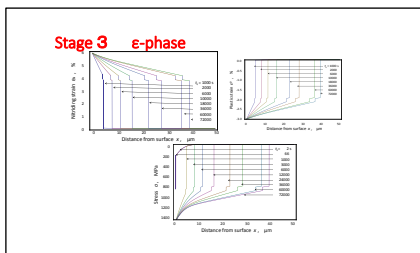
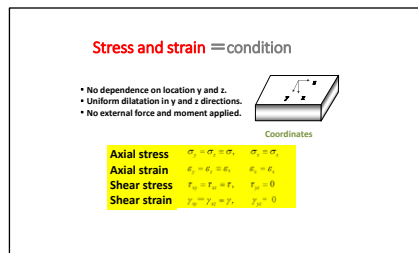
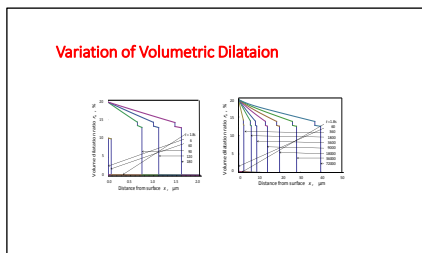
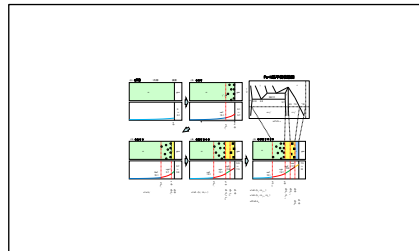
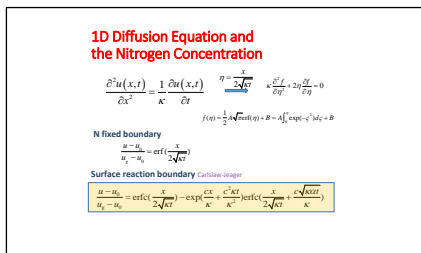
物は生成品しないので、拡散解析を行った。これらの結果をもとに、ひずみと弾塑性応力、すなわち残留応力の解析を実施したが、浸炭、窒化は部材表面の極く浅い部分に限られていることから、解析は1次元（ないしは準1次元）解析で十分であるとして基本的な論理を展開し、プログラムの開発を行った。

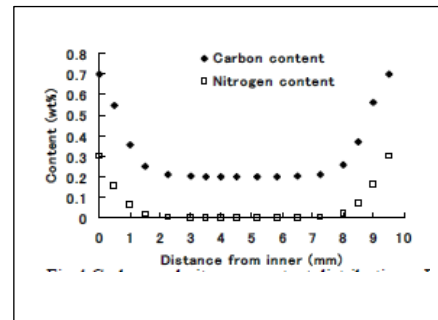
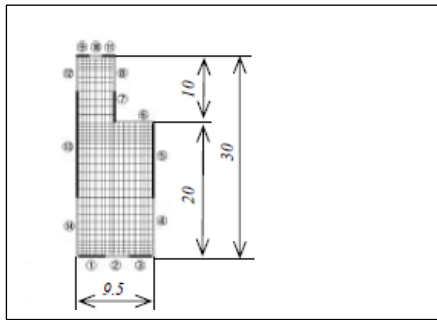
c. ガス窒化によって生じる残留応力の測定と、それによる解析結果の妥当性の検討

窒化についてはSCM420材について、実際にガス窒化実験を行い、残留応力を実測し、シミュレーション結果と比較したところ、ほぼ妥当な対応を見せたことから、これらの理論、シミュレーションの妥当性が検証できた。

d. 浸炭、窒化のさらに一般的な3次元有限要素法による解析コードへの適用の可能性

当研究代表者らが、当該NPO法人で開発した熱処理シミュレーションソフトCOSMAPにおいては、すでに炭素、窒素の拡散方程式を解くことを可能にしているが、そこでは単純な拡散のみを扱ったもので、窒化物生成を考慮されていなかった。ここでは、上記の1次元問題に対する結果を基に、弾塑性解析とともに、一般的なシミュレーションの可能性について、将来の基盤を構築することができた。





## 2 予想される事業実施効果

自動車部品特にパワートレインはじめ各種機械部品の軽量化と強靱化のためには、鋼部品に浸炭、窒化を行って表面を硬化し、その後熱処理を施すことが多い。この条件と結果の評価は、現場の経験と実績によるか、コストと時間を要する実験に依存してきた。したがって、これを理論的に解明し、コンピューターソフトで模擬することは、機械メーカーをはじめ多くの分野で緊急の課題となっている。

本研究では、まず窒化、続いて浸炭について、解析的に窒素・炭素濃度分布などを推定し、ひずみと残留応力を評価する基礎理論とそれによるシミュレーション手法の構築を行った。これによって、各部材の浸炭・窒化処理後の炭素・窒素および化合物の分布がわかり、硬さの定量的把握が可能になる。同時に生じる残留応力を見積ることができる。

## 3 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 特定非営利活動法人 変態・熱・力学研究協会  
(ヘンタイ・ネツ・リキガクケンキュウキョウカイ)

住所： 〒601-1334

京都市伏見区醍醐勝口町3-75

申請者： 理事長 井上達雄 (イノウエタツオ)

担当部署： 本部 (ホンブ)

E-mail: npo-mtm@mbc.nifty.com

URL : <http://homepage3.nifty.com/npo-mtm/>